Acercándonos a las estrellas

Material imprescindible 2

Semana 1

Autor: José Maza S.

EduAbierta

UNIVERSIDAD DE CHILE

PTE

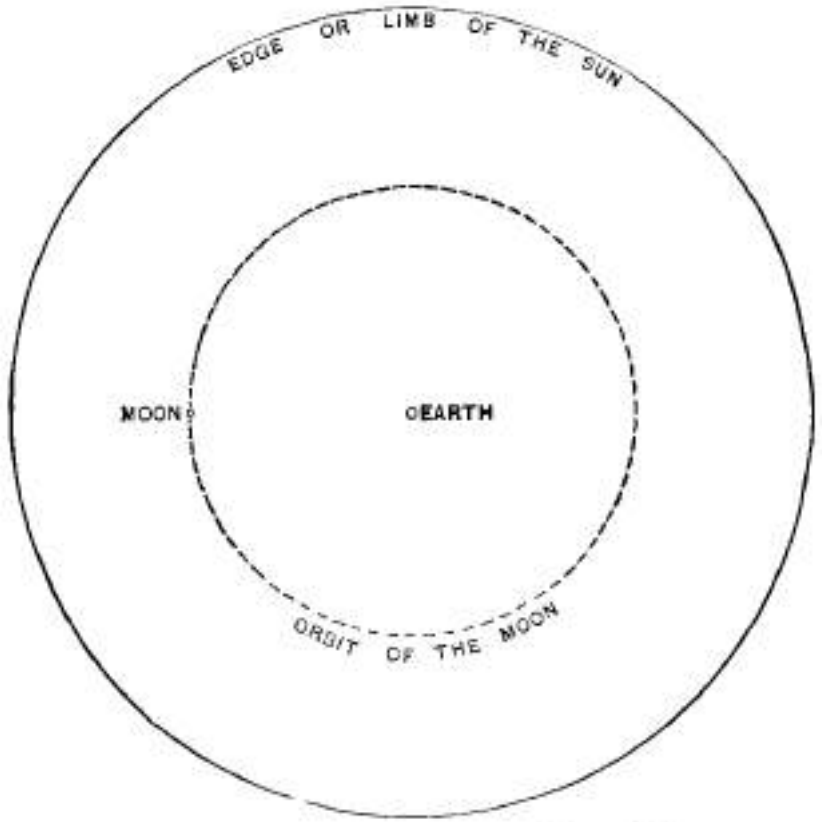
fcfm

Centro de Astrofísica y Tecnologías Afines

Dimensiones

- El radio ecuatorial terrestre es de 6.378 km.
- La distancia media a la Luna es de 384.000 km
- Esto equivale a 60 radios terrestres.
- La distancia Tierra Sol se define como la **Unidad astronómica de distancia** que corresponde a 149.600.000 km.
- El radio del Sol es de 696.000 km
- Esto equivale a 109 veces el radio terrestre.

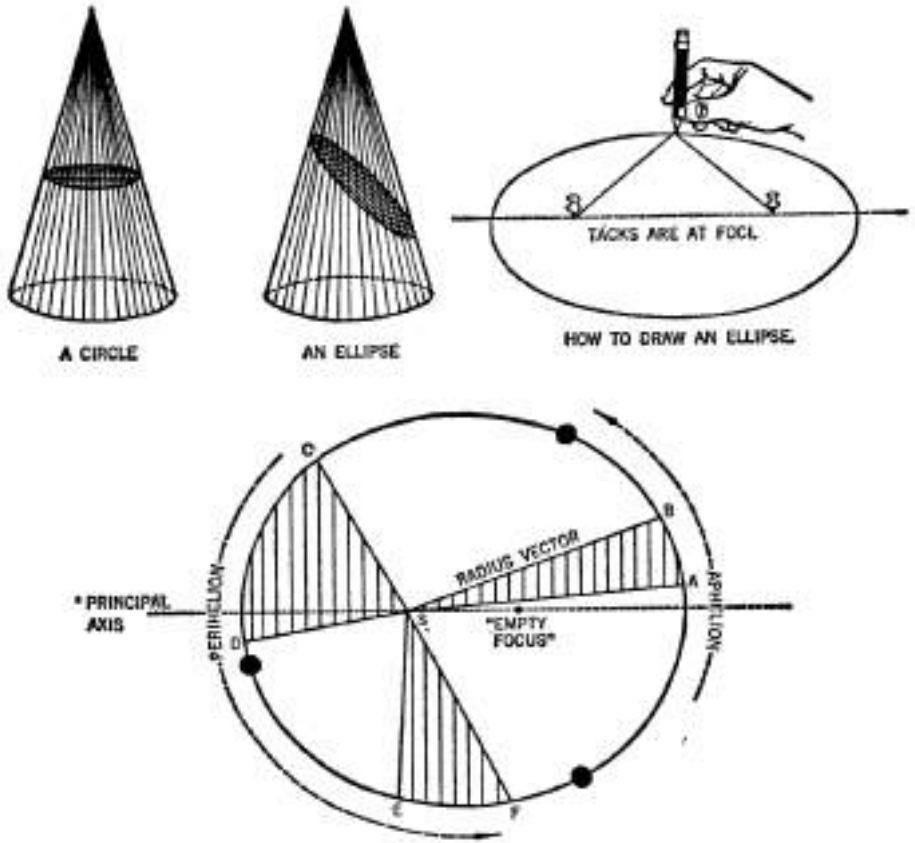
Tamaños de la Tierra y el Sol, a escala. La órbita de la Luna estaría dentro del Sol



SIZE OF SUN COMPARED WITH MOON'S ORBIT

Leyes de Kepler

- En 1609 Johannes Kepler publica su libro **Astronomia Nova** que contiene las dos primeras leyes del movimiento planetario.
- **Primera Ley**: Las órbitas de los planetas son planas. El Sol está en el plano de la órbita. La trayectoria es una elipse de la cual el Sol ocupa uno de sus focos.



KEPLER'S FIRST AND SECOND LAWS

Above, conic sections showing how the circle and ellipse are obtained. Below, the Second Law governing orbital speed of a planet. According to the First Law, the sun (S) is at one focus of the ellipse. Radius vectors from the sun to points on the orbit are drawn so that the three shaded portions are equal in area. Because the areas are the same, a planet must move through the orbital arcs AB, CD and EF in equal times. At perihelion (nearest the sun), the planet has to move faster than it does at aphelion in order for its radius vector to sweep over the corresponding equal area.

- **Segunda Ley:** El radio vector que une al Sol y al planeta barre áreas iguales en tiempos iguales.
- Con las leyes de Kepler bastan siete elipses para explicar los movimientos en el sistema solar de la Luna y los seis planetas.
- Kepler en su libro **"Epitome Astronomiae Copernicanae"** (1618-21) extiende al resto de los planetas la validez de sus leyes y muestra que también se aplican a la Luna y los satélites galileanos de Júpiter.

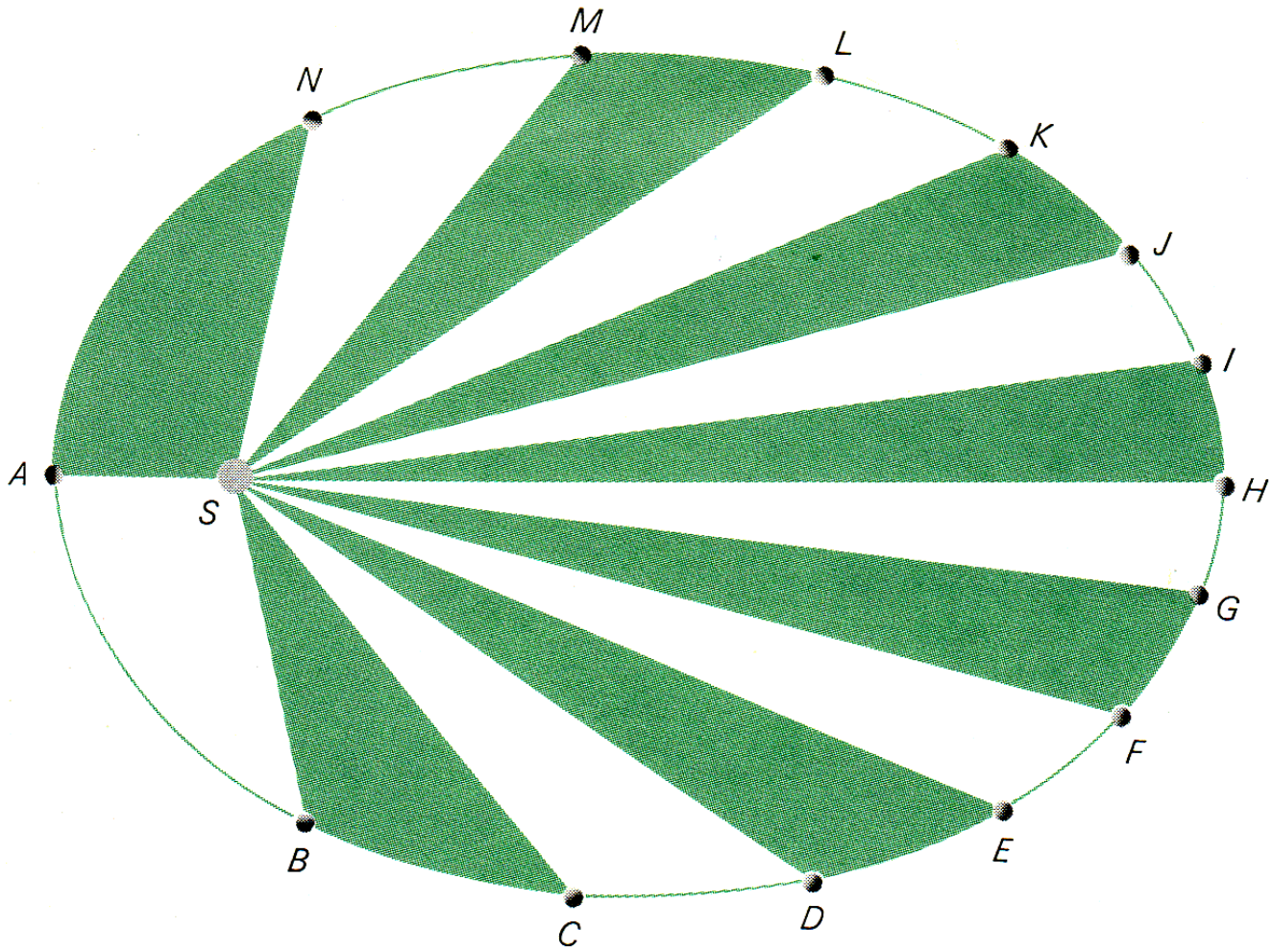


FIGURE 3.11 Law of equal areas. A planet moves most rapidly on its elliptical orbit when it is at position *A*, nearest the focus of the ellipse, *S*, where the sun is. The planet's orbital speed varies in such a way that in equal intervals of time it moves distances *AB*, *BC*, *CD*, and so on, so that regions swept out by the line connecting it and the sun (shaded and clear zones) are always the same in area.

Harmonice Mundi

- Kepler no se dió por satisfecho con sus dos primeras leyes.
- Siguió buscando una relación armónica entre las órbitas, que venía buscando desde 1597 en su Mysterium Cosmographicum.
- El 15 de mayo de 1618 formuló la feliz hipótesis:

Tercera Ley

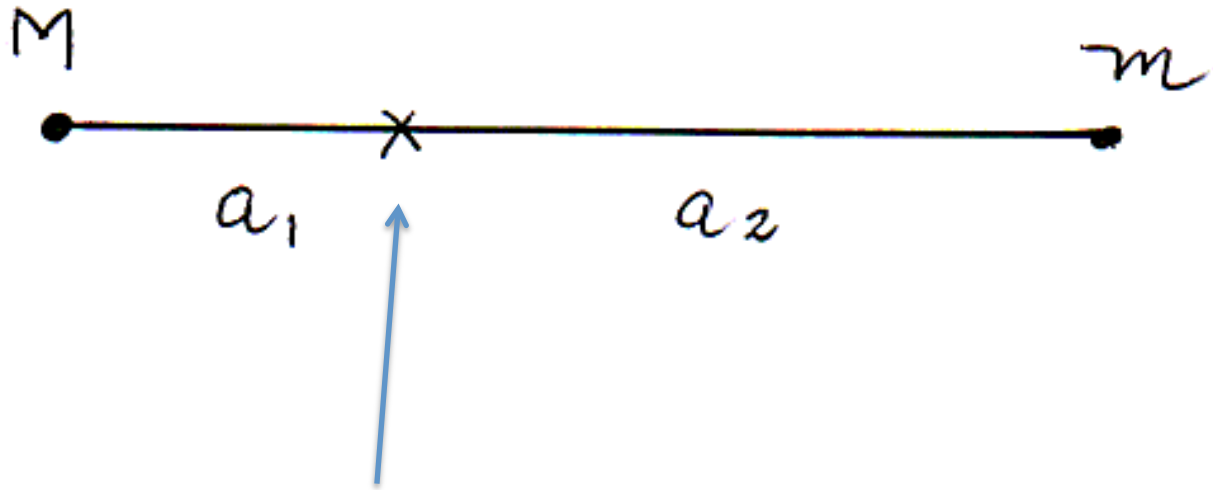
- *"Los cuadrados de los tiempos de revolución son proporcionales a los cubos de los semi-ejes mayores de las órbitas".*

$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

- *Esta proporcionalidad puede verse en la siguiente tabla:*

Planeta	a (U.A.)	P (años)	a^3	P^2
Mercurio	0,3871	0,24085	0,0580	0,0580
Venus	0,7233	0,61521	0,3784	0,3785
Tierra	1,0000	1,00000	1,0000	1,0000
Marte	1,5237	1,88089	3,5375	3,5377
Júpiter	5,2028	11,8622	140,835	140,712
Saturno	9,5388	29,4577	867,923	867,756

- Kepler encontró la tercera ley mirando una tabla como la anterior; no fue una deducción.
- La tercera ley de Kepler en verdad es una aproximación a la realidad.
- La ley exacta se puede deducir a partir de la Gravitación universal de Newton.
- Si un planeta, de masa “m”, gira en torno al Sol, de masa “M”, en una órbita circular tendremos en verdad que el planeta y el Sol giran en torno al centro de masas.


M
m
a_1
a_2
Centro de masas

- Centro de masas:

$$a_1 + a_2 = a$$

$$M \times a_1 = m \times a_2$$

- La fuerza centrífuga del giro de cada uno debe estar perfectamente compensada por la atracción gravitacional del otro.

$$\frac{M \times v_1^2}{a_1} = G \times \frac{M \times m}{a^2}$$

$$\frac{m \times v_2^2}{a_2} = G \times \frac{M \times m}{a^2}$$

pero

$$v_1 = \frac{2\pi \times a_1}{P}$$

$$v_2 = \frac{2\pi \times a_2}{P}$$

- Las ecuaciones anteriores se pueden escribir como:

$$\frac{4\pi^2 \times a_1}{P^2} = G \times \frac{m}{a^2}$$

$$\frac{4\pi^2 \times a_2}{P^2} = G \times \frac{M}{a^2}$$

Sumando ambas ecuaciones

$$\frac{4\pi^2}{P^2}\left(a_1 + a_2\right) = \frac{G}{a^2}\left(M + m\right)$$

- Pero como $a_1 + a_2 = a$ tenemos

$$4\pi^2 a^3 = G(M + m)P^2$$

Esta es la forma de la Tercera ley de Kepler modificada.

Si escribimos esta ecuación para un planeta y el Sol y la dividimos por la misma ecuación para la Tierra y el Sol tenemos:

$$\frac{a_P^3}{a_T^3} = \left(\frac{M_S + m_P}{M_S + m_T} \right) \times \frac{P_P^2}{P_T^2}$$

- Donde: a_p : semi-eje mayor del planeta
- a_T : semi-eje mayor de la Tierra
- M_S : masa del Sol
- m_P : masa del planeta
- m_T : masa de la Tierra
- P_P : período del planeta
- P_T : período de la Tierra

- Como las masas de los planetas son en general muy pequeñas comparadas con la masa del Sol, el paréntesis de las masas es muy cercano a la unidad y con ello resulta válida la ley encontrada por Kepler.
- La masa de la Tierra es 1/330.000 de la masa solar.
- Sólo la masa de Júpiter es 0,001 de la masa solar.

Problema 1:

- Calcular la razón entre la masa del Sol y la masa de la Tierra, sabiendo que la masa de la Luna es 1/81 de la masa terrestre.
- La tercera ley de Kepler para el movimiento de la Tierra alrededor del Sol se puede escribir:

$$4\pi^2 \times \left(150 \times 10^6\right)^3 = G \times \left(M_{Sol} + m_T\right) \times \left(365{,}25\right)^2$$

La tercera ley de Kepler para el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra se puede escribir

$$4\pi^2 \times (384.000)^3 = G \times (m_T + m_L) \times (27,3)^2$$

Dividiendo ambas ecuaciones:

$$59,6 \times 10^6 = \frac{M_{Sol}}{m_T \times \left(1 + \frac{1}{81}\right)} \times 179,0$$

Por lo tanto:

$$\frac{M_{Sol}}{m_T} = 337.000$$

Problema 2

- Calcular la altura sobre la Tierra de un satélite geoestacionario:
- **R:** La tercera ley de Kepler para el giro de la Luna en torno a la Tierra es:

$$4\pi^2 \times (384.000)^3 = G \times (m_T + m_L) \times (27)^2$$

La tercera ley de Kepler para el giro del satélite alrededor de la Tierra

$$4\pi^2 \times X^3 = G \times (m_T + m_{Satélite}) \times (1)^2$$

- Dividiendo ambas ecuaciones resulta (despreciando las masas de la Luna y del satélite, frente a la masa de la Tierra):

$$\left(\frac{384.000}{X}\right)^3 = \left(\frac{27}{1}\right)^2$$

$$\frac{384.000}{X} = 9$$

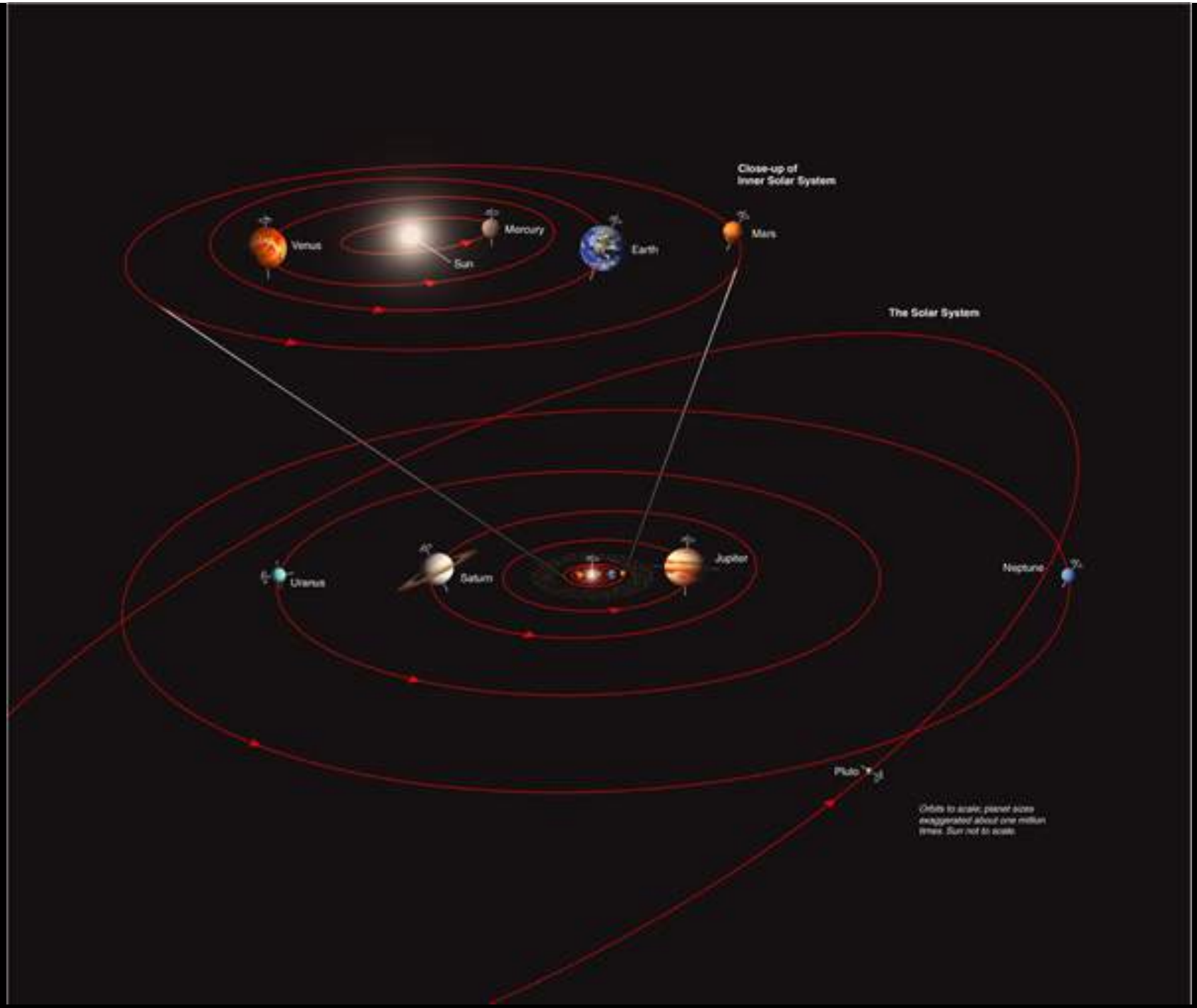
$$X = \frac{384.000}{9} = 42.670\left[km\right]$$

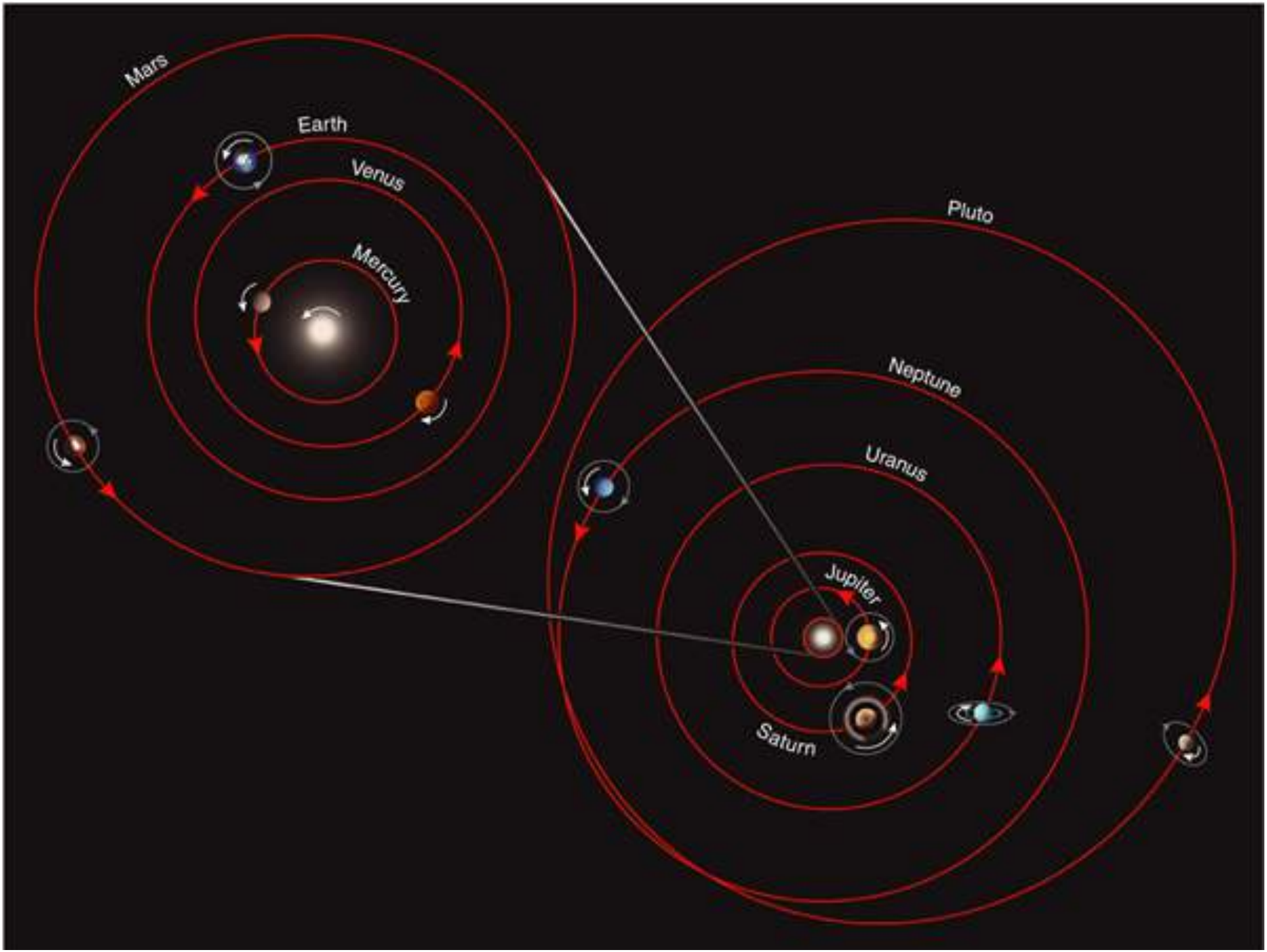
- Esa es la distancia desde el centro de la Tierra hasta el satélite. Para saber la altura hay que restar el radio terrestre, 6.378 kilómetros por lo cual la respuesta es que la altura sobre la superficie terrestre de un satélite geoestacionario es de 36.292 km. o sea 36.300 km.
- La distancia al centro equivale a 6,7 radios terrestres y la altura a 5,7

Sistema Solar: Grandes regularidades

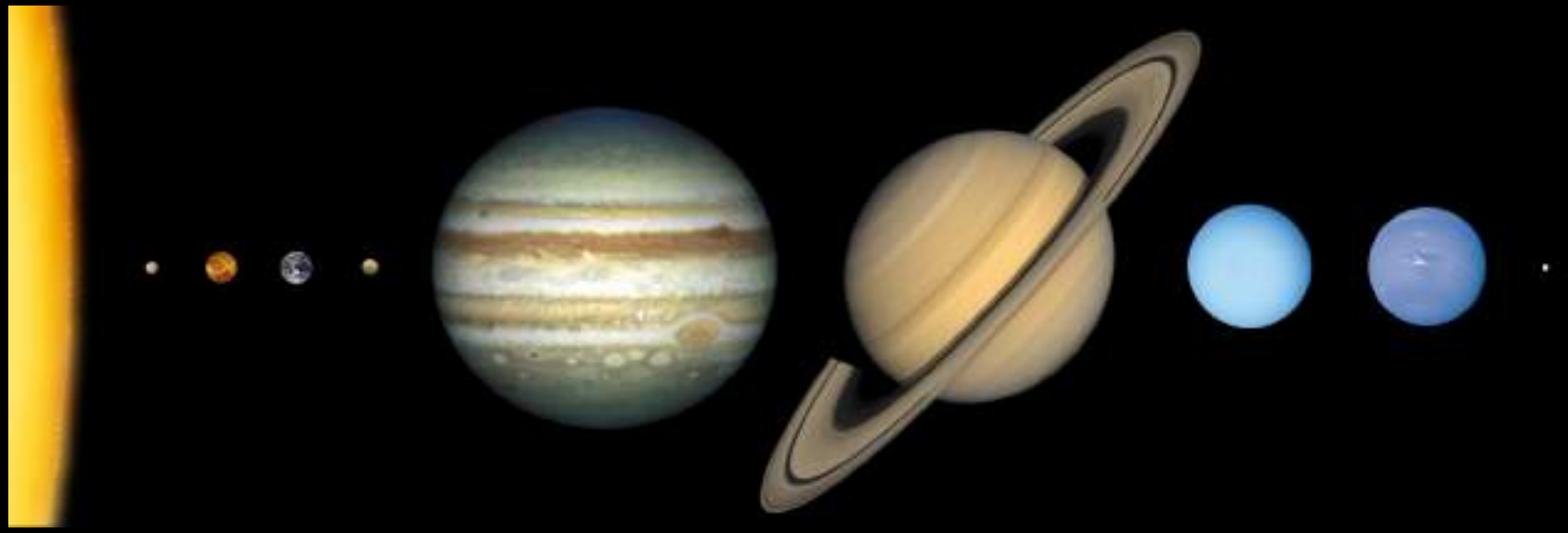
- El sistema solar está compuesto por el Sol y los planetas.
- El Sol contiene el 99,87% de la masa del sistema solar.
- La masa del Sol = 330.000 masas de la Tierra
- Masa de Júpiter = 318 masas terrestres
- Masa de todos los planetas equivale a 1,3 milésimas de la masa del Sol.

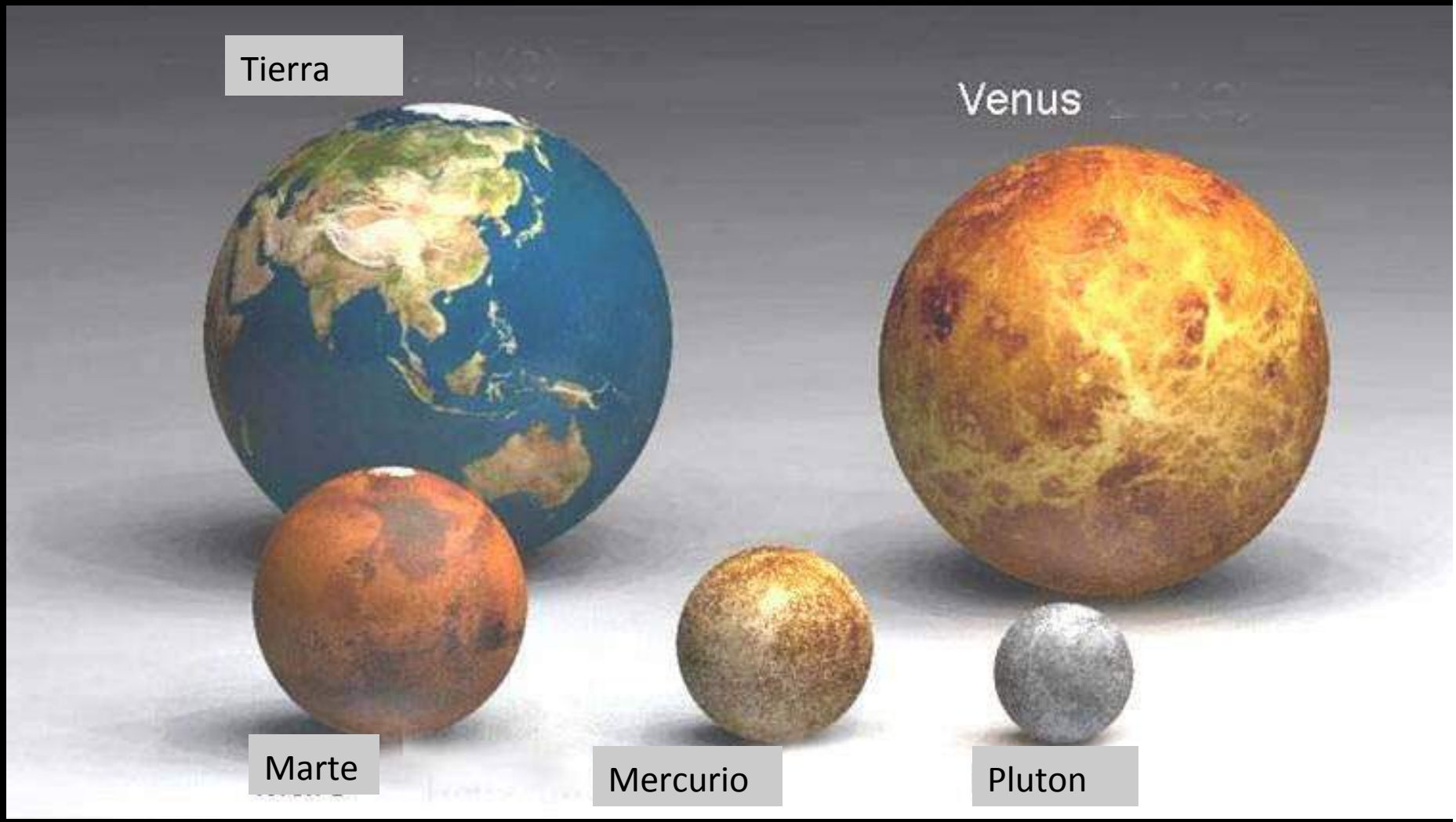
- Todos los planetas orbitan alrededor del Sol girando en sentido contrario a los punteros de un reloj (vistos desde el norte).
- Todos los planetas giran “casi” en el mismo plano.
- Los planetas rotan en torno a un eje que es “casi” perpendicular al plano de la eclíptica.
- La rotación de los planetas es contra reloj vista desde el norte.

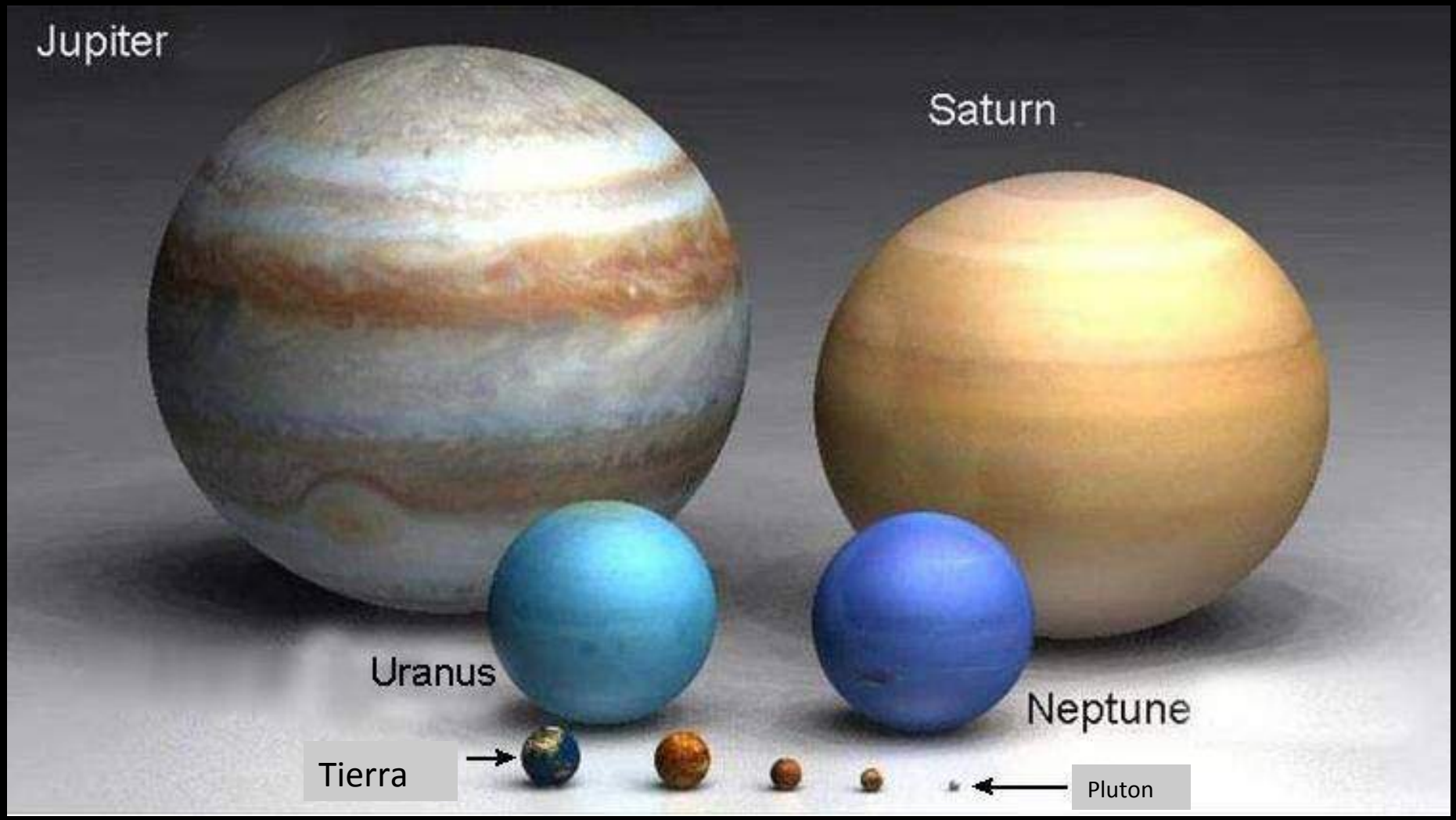

Close-up of
Inner Solar System
Venus
Mercury
Sun
Earth
Mars
The Solar System
Uranus
Saturn
Jupiter
Neptune
Pluto
Orbits to scale; planet sizes
exaggerated about one million
times. Sun not to scale.

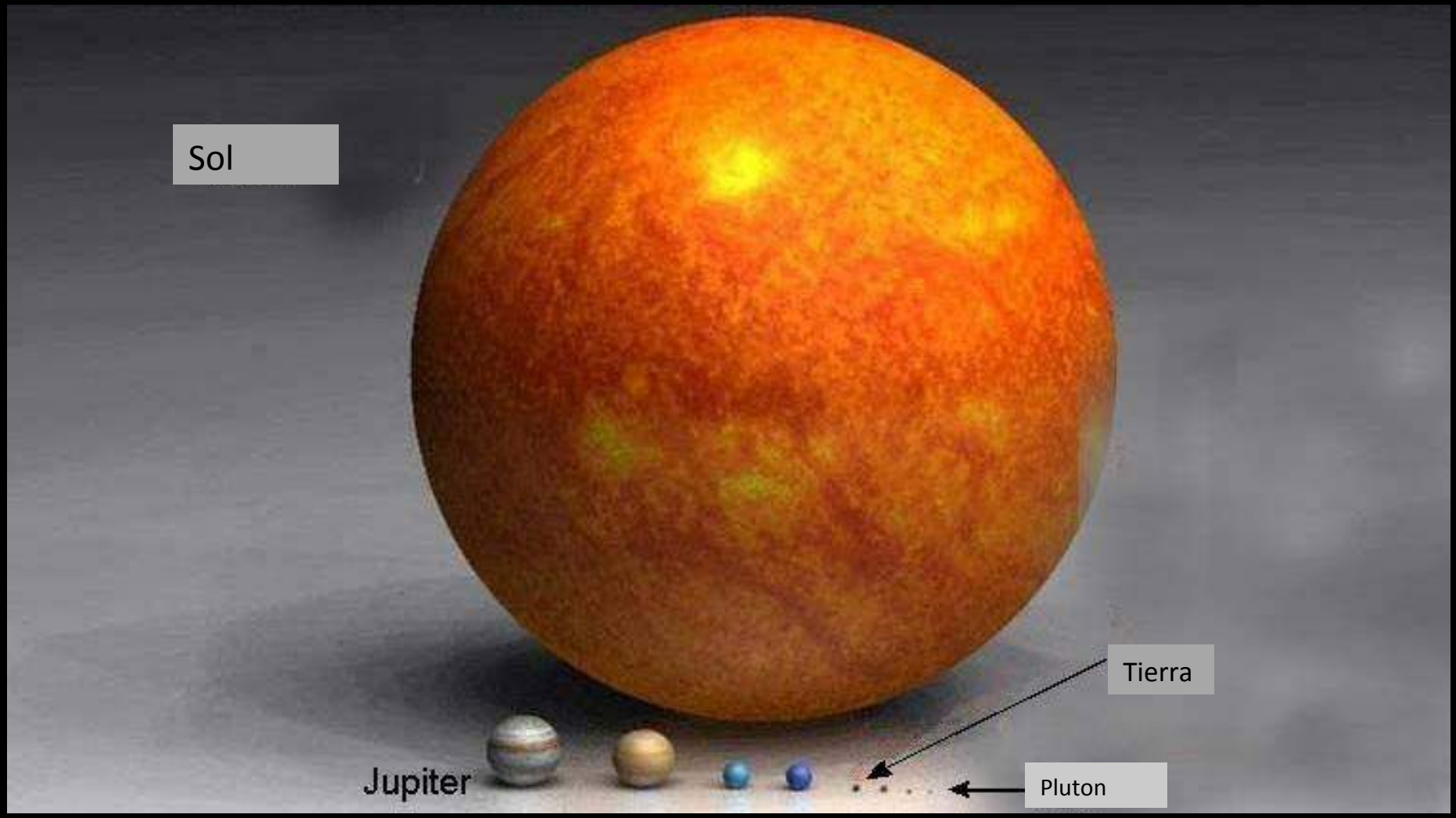

Mars
Earth
Venus
Mercury
Pluto
Neptune
Uranus
Jupiter
Saturn

El Sol y los 8 planetas + Plutón

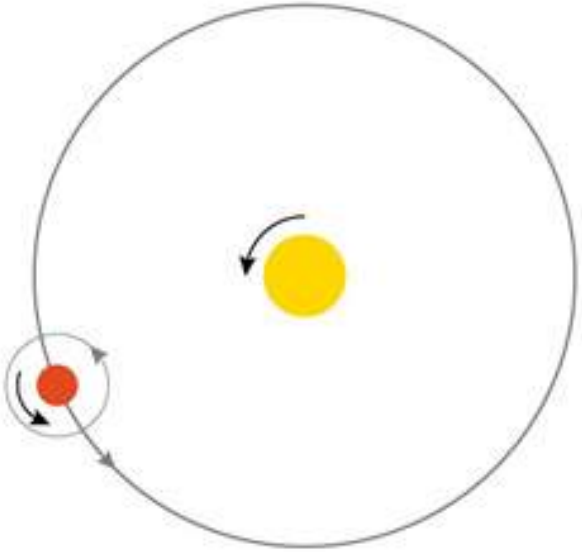



Tierra
Venus
Marte
Mercurio
Pluton

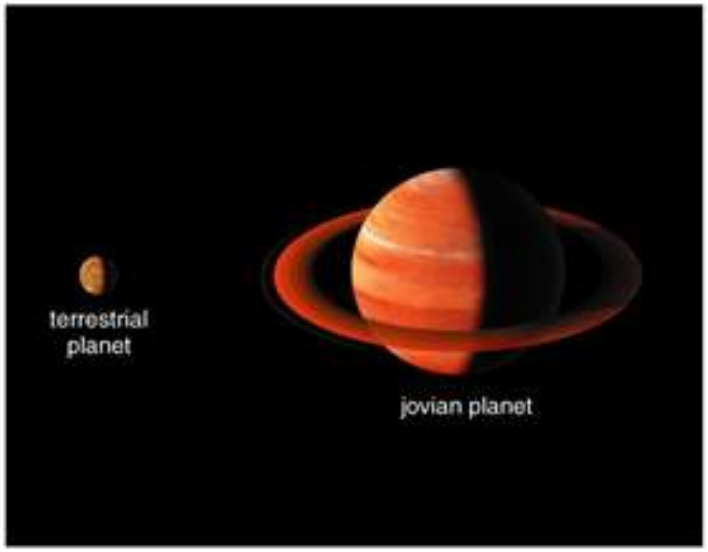

Jupiter
Saturn
Uranus
Neptune
Tierra
Pluton


Sol
Tierra
Jupiter
Pluton

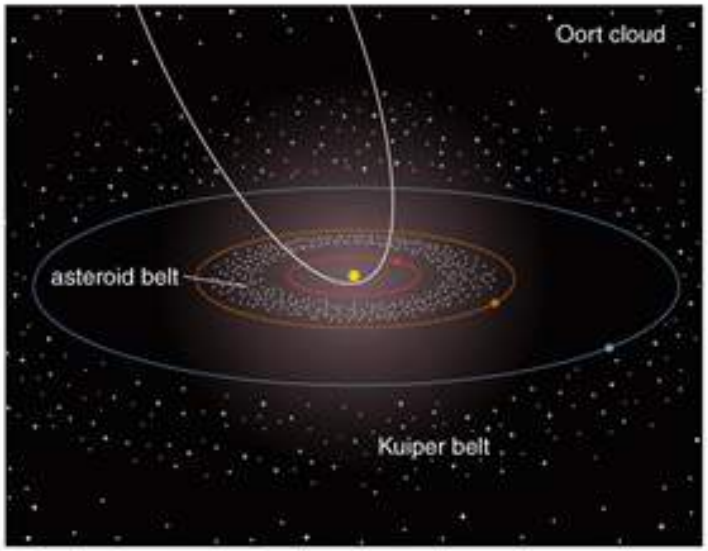
- Se pueden distinguir dos familias de planetas:
- **Planetas terrestres**
- **Planetas jovianos.**
- Los planetas terrestres son pequeños, rocosos, densos, cercanos al Sol **(Mercurio, Venus, La Tierra y Marte).**
- Los planetas jovianos son de hielo, poco densos, de gran tamaño y lejanos al Sol: **Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.**



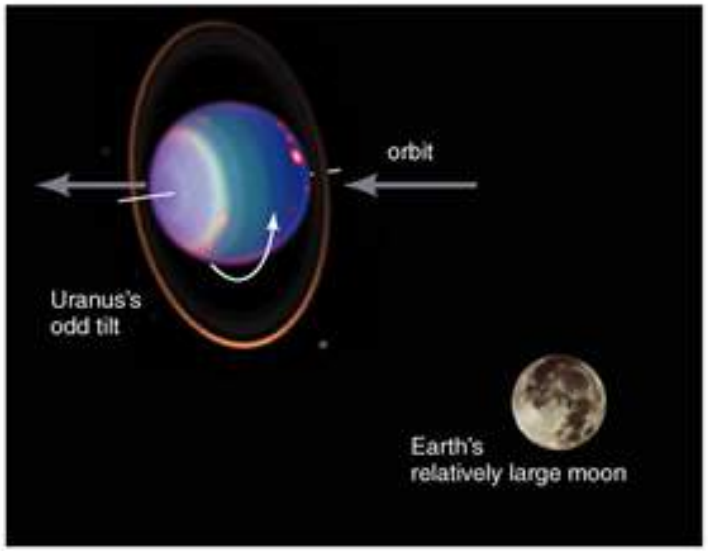
Large bodies in the solar system have orderly motions. All planets and most satellites have nearly circular orbits going in the same direction in nearly the same plane. The Sun and most of the planets rotate in this same direction as well.



Planets fall into two main categories: small, rocky terrestrial planets near the Sun and large, hydrogen-rich jovian planets farther out. The jovian planets have many moons and rings made of rock and ice. Pluto does not fit in either category.

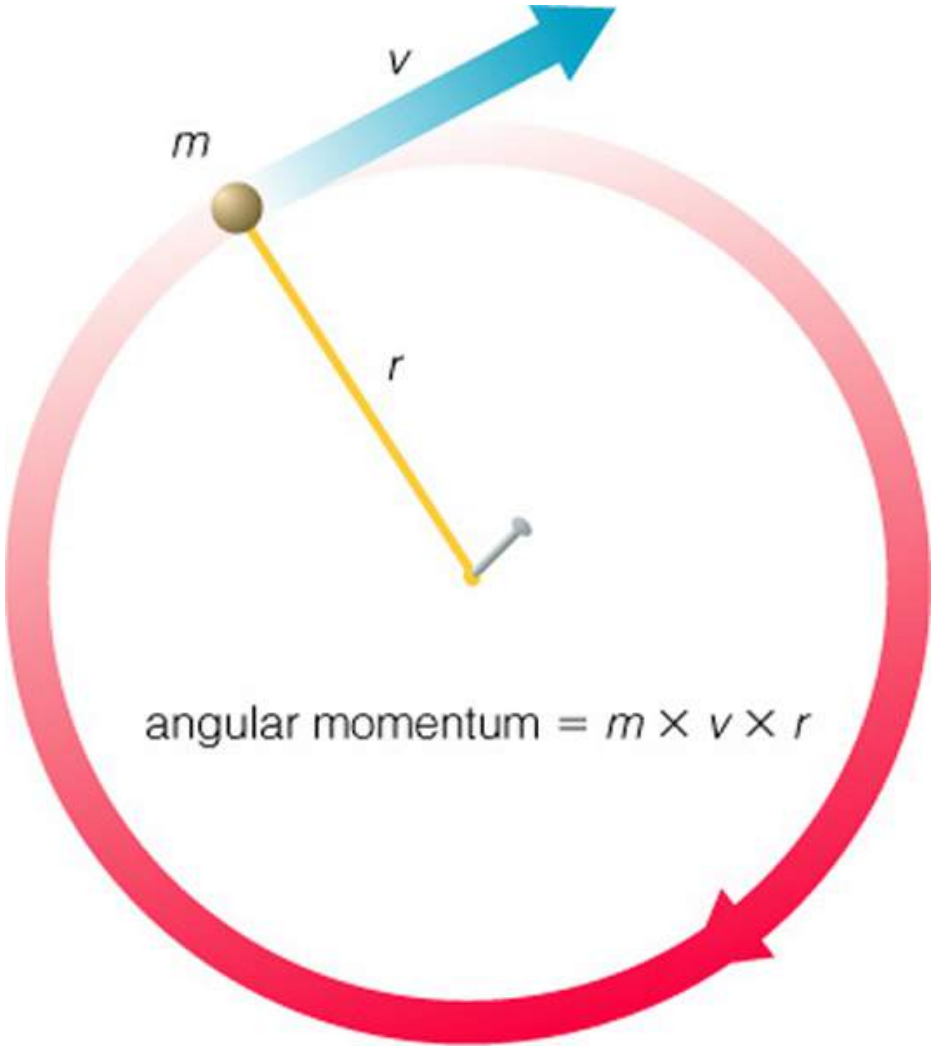


Swarms of asteroids and comets populate the solar system. Asteroids are concentrated in the asteroid belt, and comets populate the regions known as the Kuiper belt and the Oort cloud.



Several notable exceptions to these general trends stand out, such as planets with unusual axis tilts or surprisingly large moons, and moons with unusual orbits.

Momento angular



- El Sol gira en 25 días.
- La masa del sistema solar está en el Sol.
- El momento angular del sistema solar está en los planetas, principalmente los planetas gigantes.
- El momento angular de un sistema de partículas se conserva, a menos que actúen fuerzas externas.
- La nebulosa solar primitiva depositó el momento angular en los planetas y la masa en el Sol.

Los Planetas Terrestres

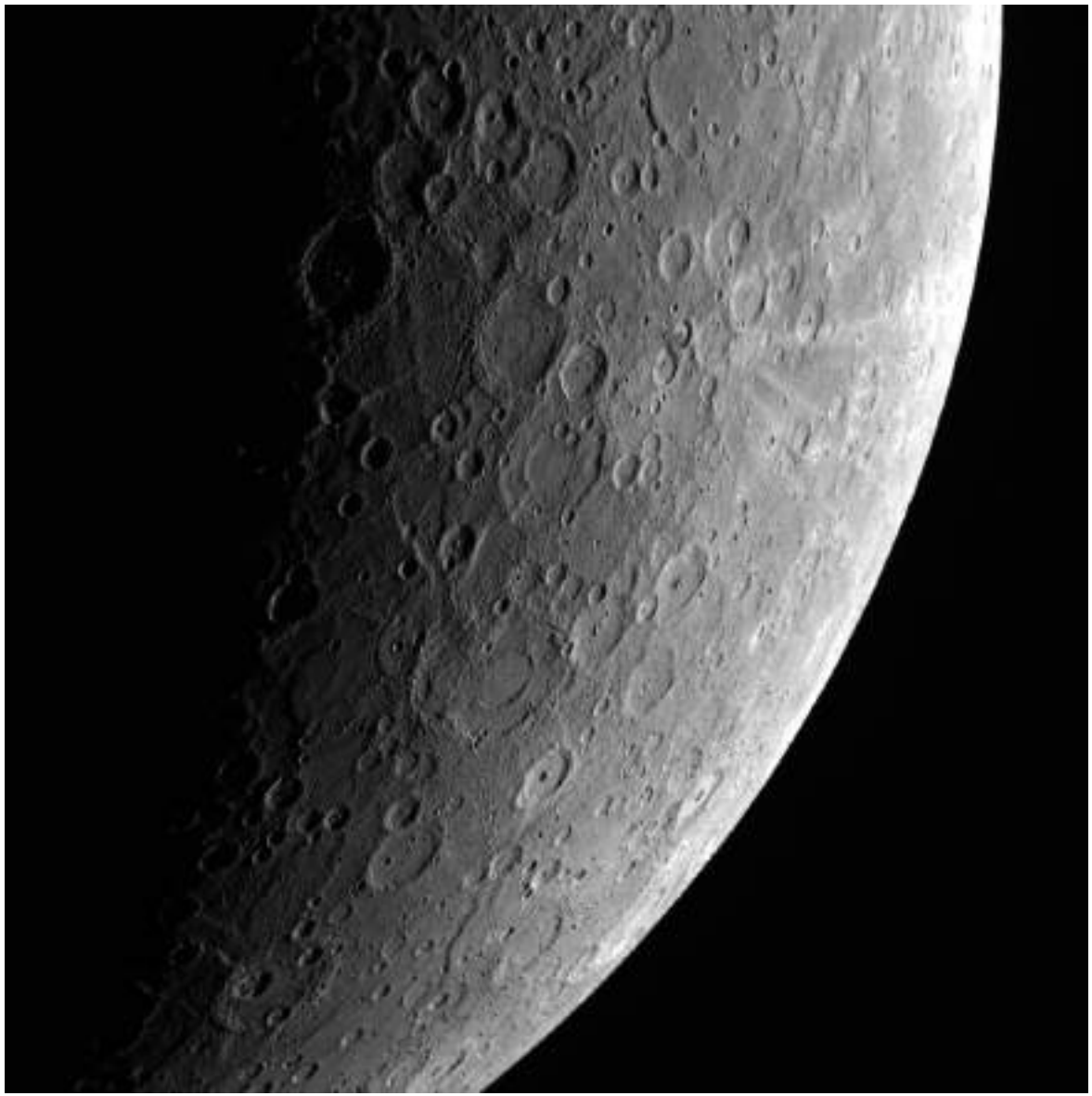
- De los cuatro planetas pequeños, cercanos al Sol, la Tierra es el más grande y por ellos se los suele llamar “planetas terrestres”.

Mercurio

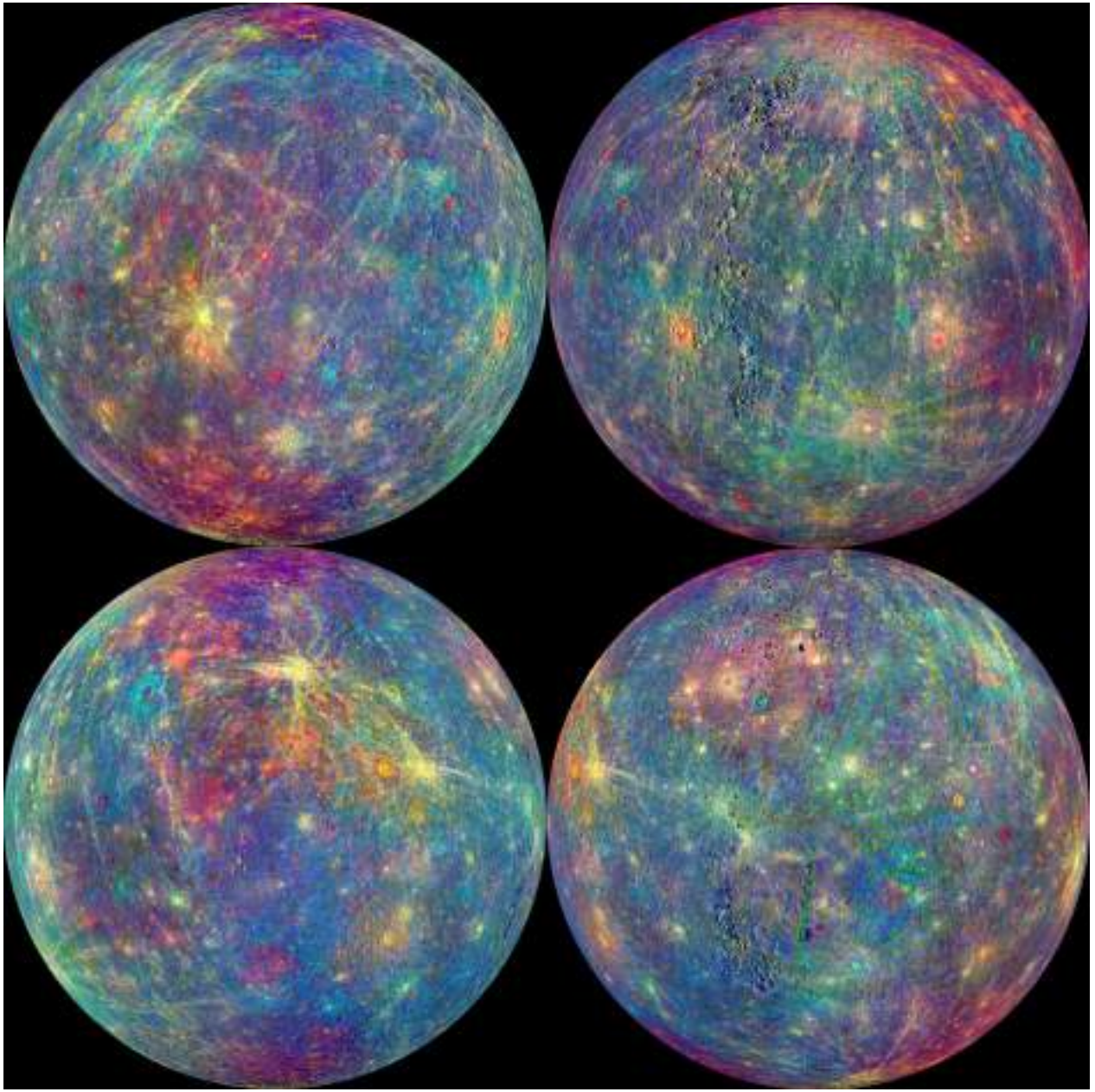
- Diámetro ecuatorial: 4.879 km
- Masa: 0,055274 $M_{\oplus}$
- Densidad: 5,43 gr/cm^3
- Período orbital: 87,969 días
- Período de rotación: 58,646 días
- Velocidad de escape: 4,3 km/s
- No tiene atmósfera

- Distancia media al Sol: 0,387 U.A.
- Distancia mínima al Sol: 0,307 U.A
- Distancia máxima al Sol: 0,467 U.A.
- Excentricidad: 0,206
- Velocidad orbital media: 47,9 km/s
- Inclinación del ecuador: 0,5°
- Inclinación de la órbita a la eclíptica: 7° 00’ 16”
- Temperaturas medias: día 350 ° C
  noche -170 ° C

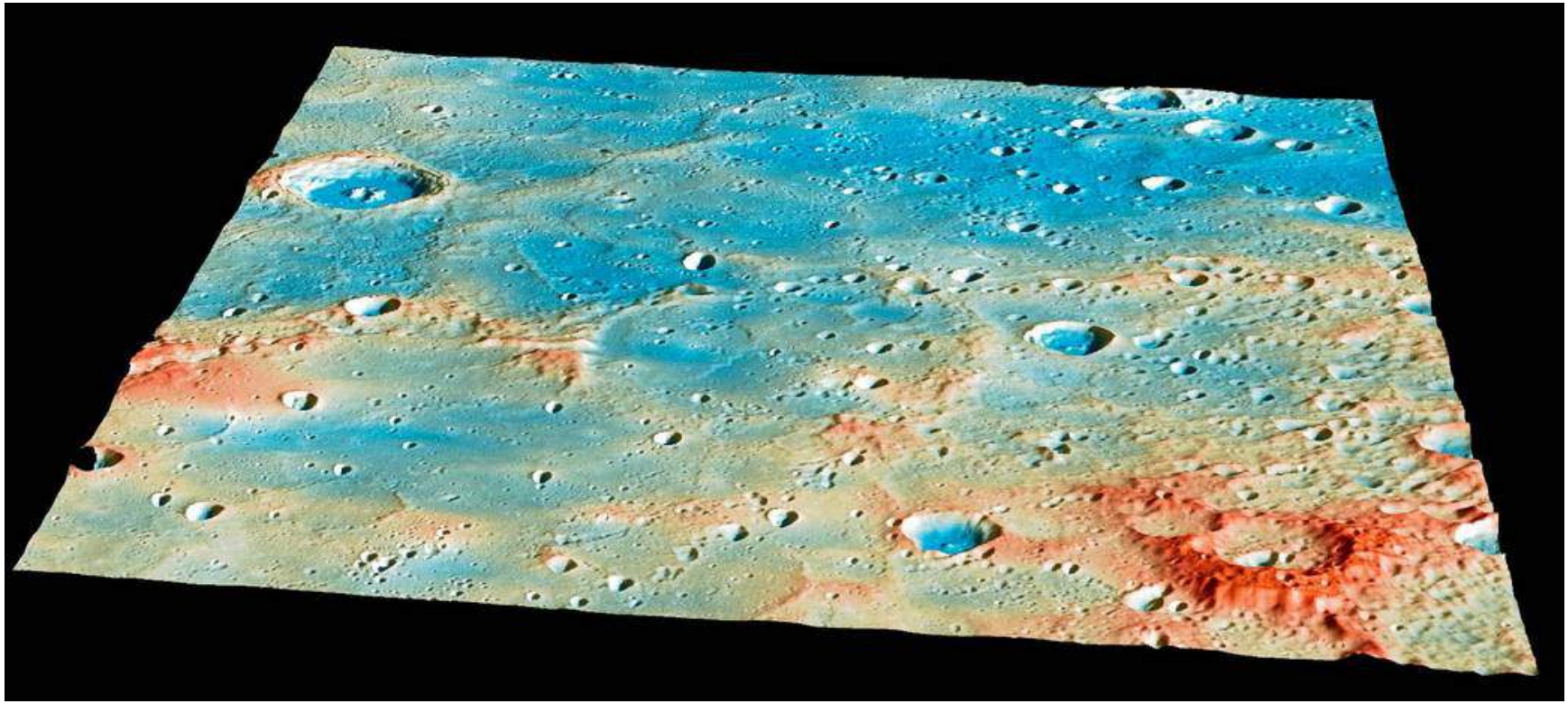
Mercurio



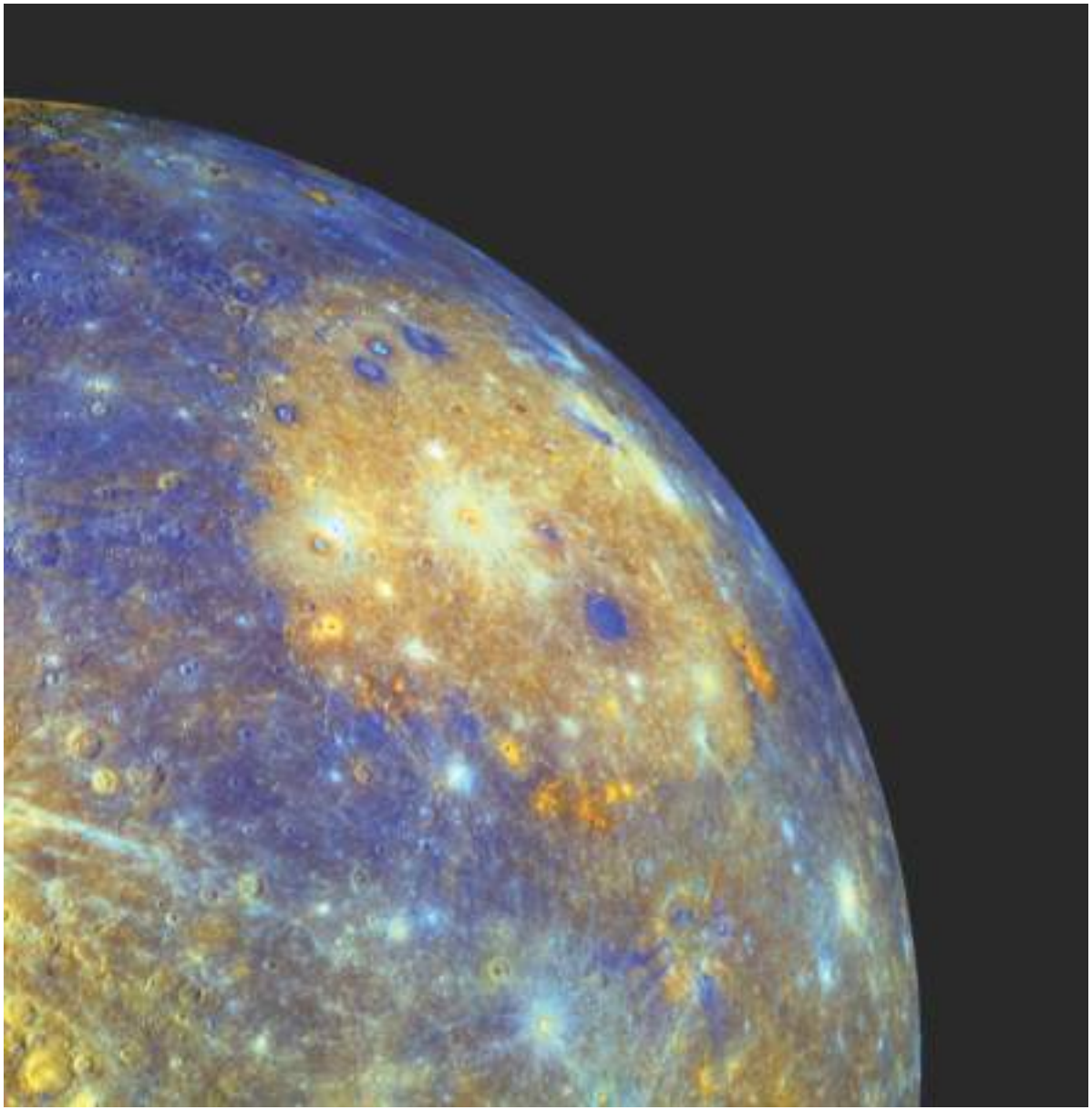
Mercurio



Mercurio



Mercurio



Venus

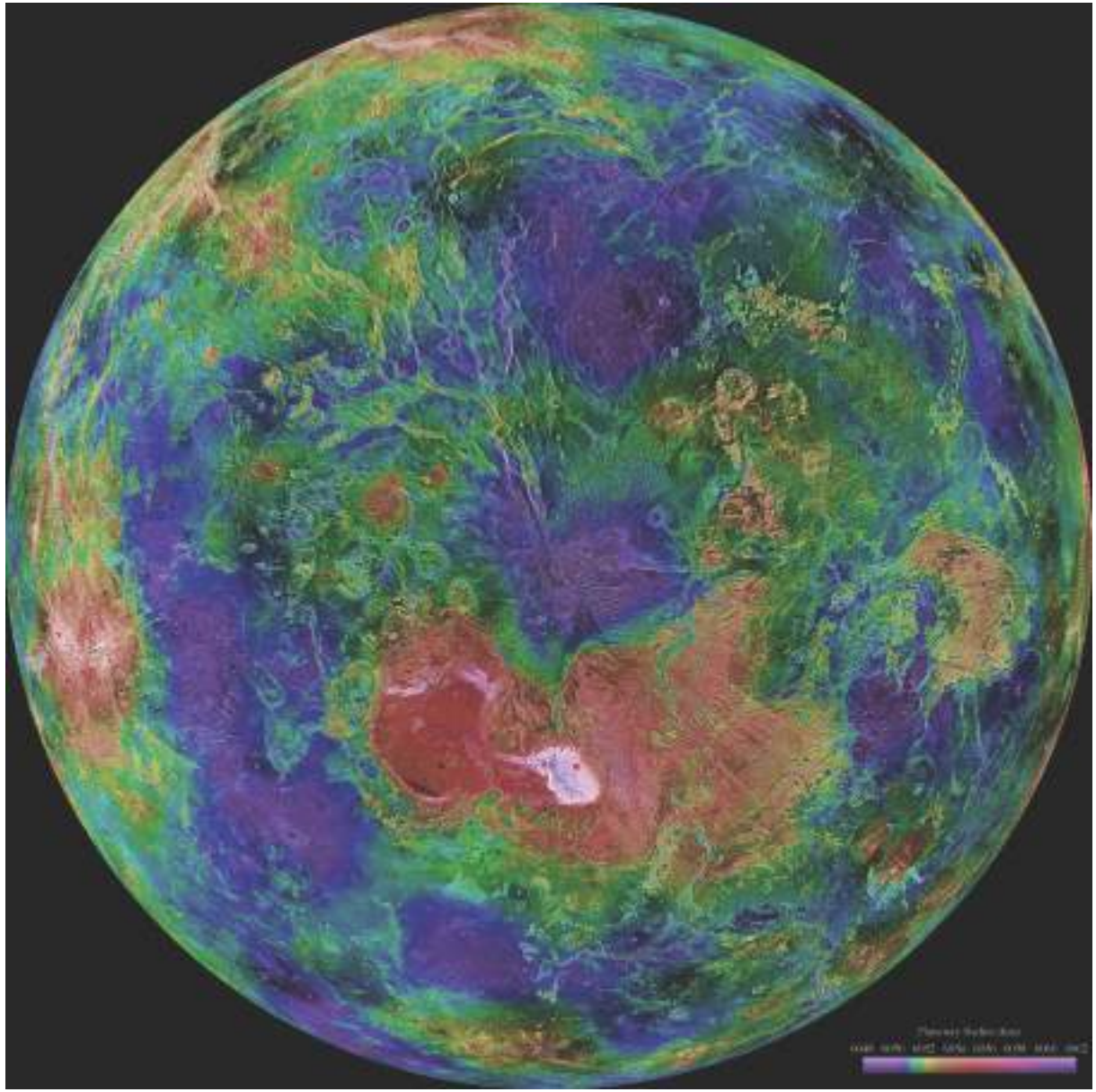
- Diámetro ecuatorial: 12.104 km = 0,949 $D_{\oplus}$
- Masa: 0,815005 $M_{\oplus}$
- Densidad: 5,24 gr/cm^3
- Período orbital: 224,7 días
- Período de rotación: 243,019 días (R)
- Velocidad de escape: 10,4 km/s
- Temperatura: 460°C
- Presión atmosférica 90 atmósferas.

- Distancia media al Sol: 0,723 U.A.
- Distancia mínima al Sol: 0,718 U.A.
- Distancia máxima al Sol: 0,728 U.A.
- Excentricidad: 0,0068
- Velocidad orbital media: 35,0 km/s
- Inclinación del ecuador a la órbita: 177,4°
- Inclinación de la órbita a la eclíptica: 3,39°
- Composición atmosférica: 96,5% CO_2
- 3,5% N_2 0,003% H_2O

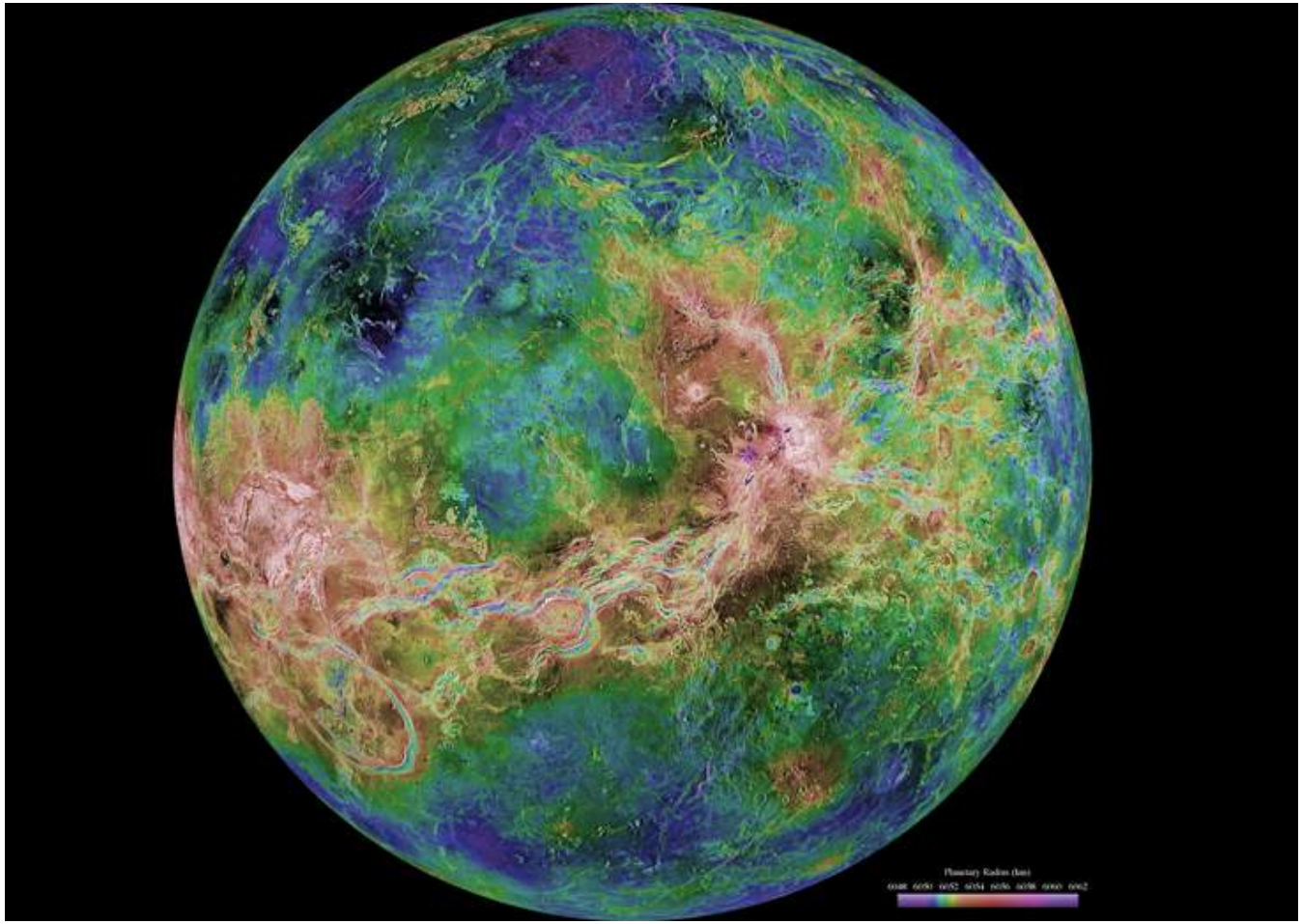
Venus

Venus

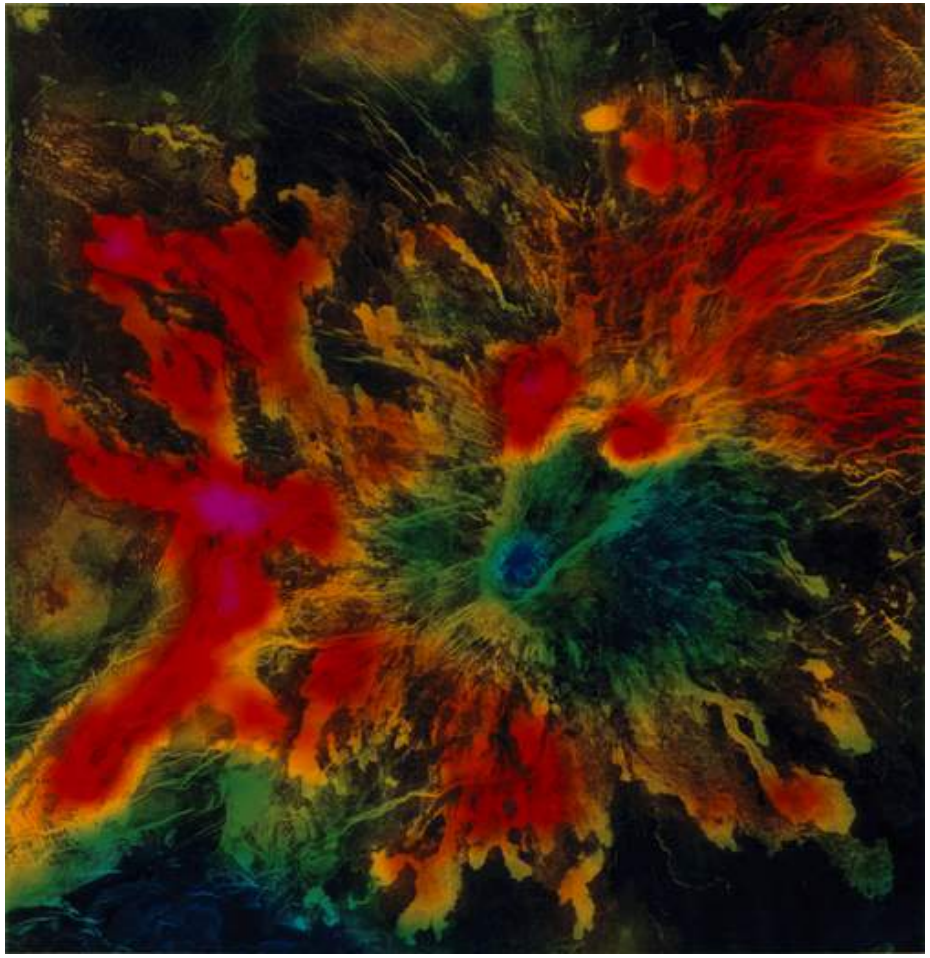
Venus



Venus



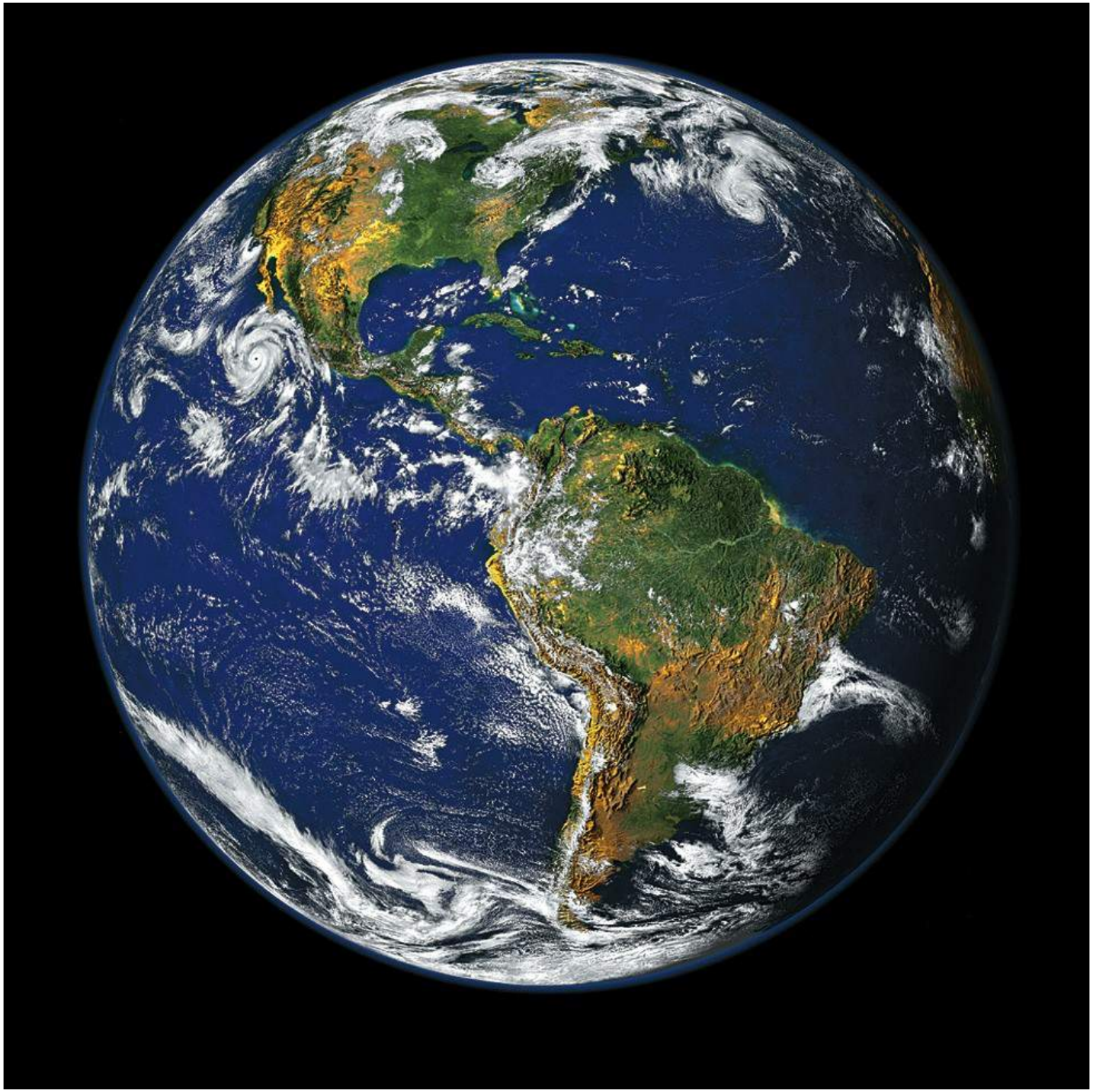
Erupción de un volcán en Venus



La Tierra

- Diámetro ecuatorial: 12.756 km
- Masa: 1,000 $M_{\oplus}$
- Densidad: 5,52 gr/cm^3
- Período orbital: 365,25 días
- Período de rotación: 24 horas
- Velocidad de escape: 11,2 km/s

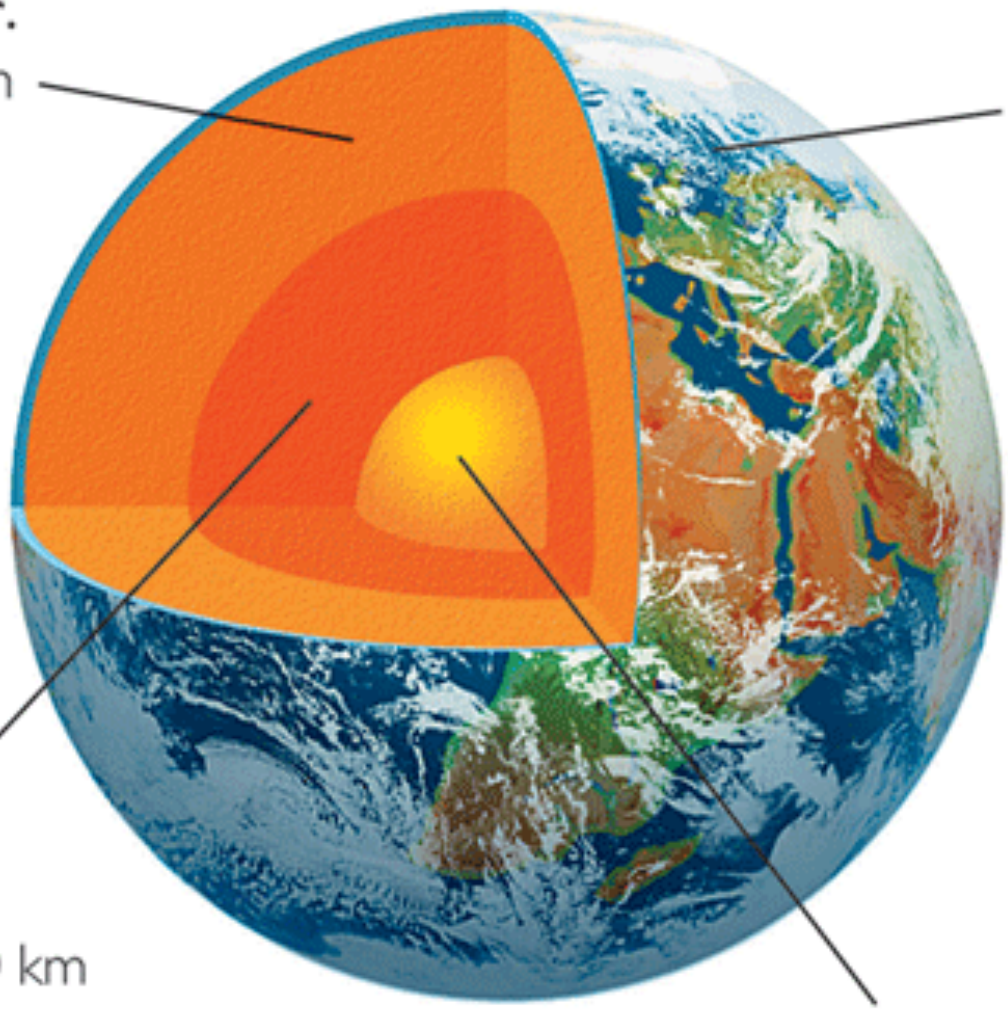
- Distancia media al Sol: 1,000 U.A.
- Distancia mínima al Sol: 0,983 U.A.
- Distancia máxima al Sol: 1,017 U.A.
- Excentricidad: 0,017
- Velocidad orbital media: 29,79 km/s
- Inclinación del ecuador: 23,45°
- Composición atmosférica: 78%N_2, 21%O_2
- 1% Vapor de agua, 0,035% CO_2



Sombra de la Luna eclipse 9/03/2016

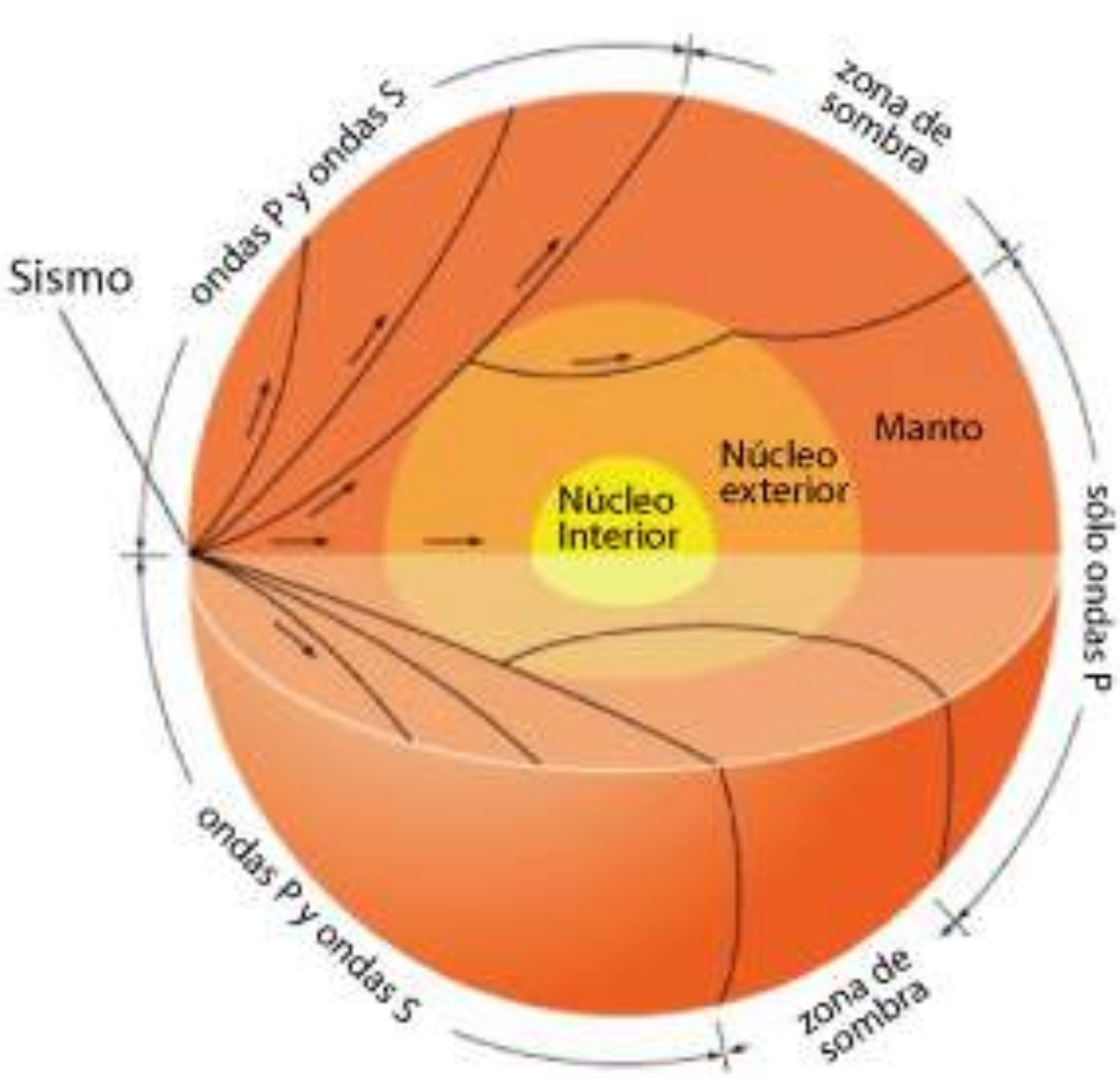
Manto superior.
De 70 a 700 km
de profundidad.

Corteza.
Con una
profundidad
de 20 a 70 km
bajo los
continentes,
y 10 km bajo
los océanos.



Manto inferior.
De 700 a 2.900 km
de profundidad.

Núcleo. De 2.900 a más de 6.000 km
de profundidad.

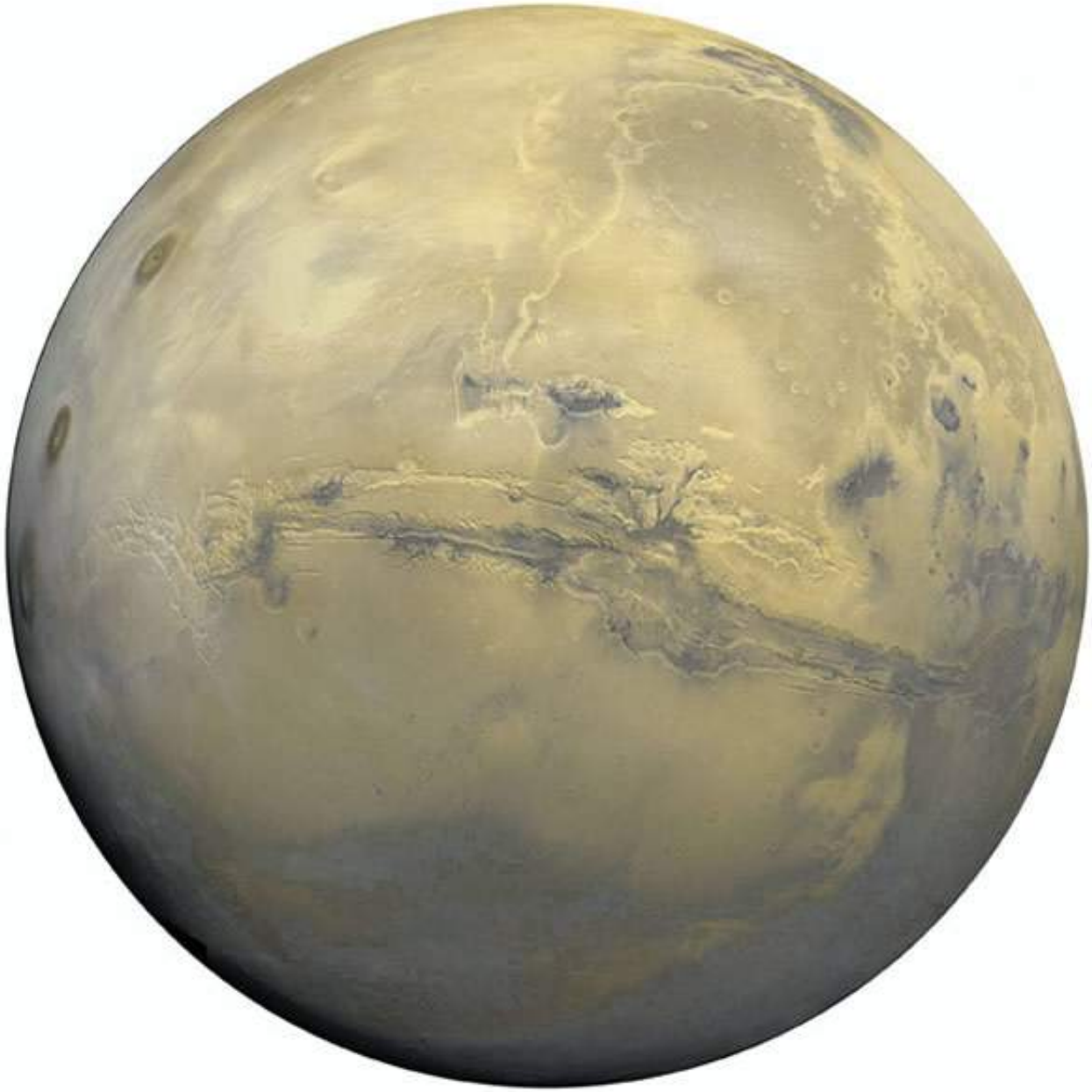

Sismo
ondas P y ondas S
zona de sombra
Manto
Núcleo exterior
Núcleo Interior
sólo ondas P
ondas P y ondas S
zona de sombra

Marte

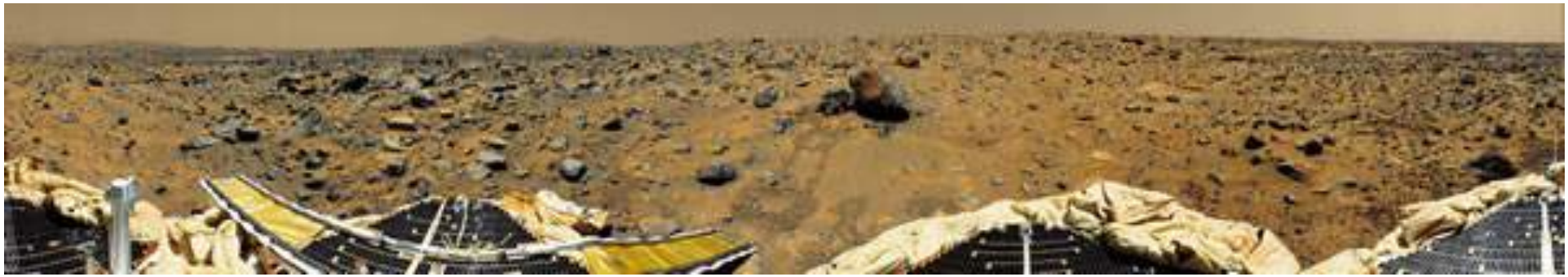
- Diámetro ecuatorial: 6.792 km = 0,533 $D_{\oplus}$
- Masa: 0,107447 $M_{\oplus}$
- Densidad: 3,93 gr/cm^3
- Período orbital: 687 días
- Período de rotación: 24 h 37 m 26s
- Velocidad de escape: 5,0 km/s
- Temperatura: -10 C
- Presión atmosférica 0,007 atmósferas

- Distancia media al Sol: 1,524 U.A.
- Distancia mínima al Sol: 1,381 U.A.
- Distancia máxima al Sol: 1,666 U.A.
- Excentricidad: 0,093
- Velocidad orbital media: 24,1 km/s
- Inclinación del del ecuador: 25,19°
- Inclinación de la órbita a la eclíptica: 1,8°
- Composición atmosférica: 95,3% CO_2 2,7%N_2, 0,03% Vapor de agua, 2% otros gases.

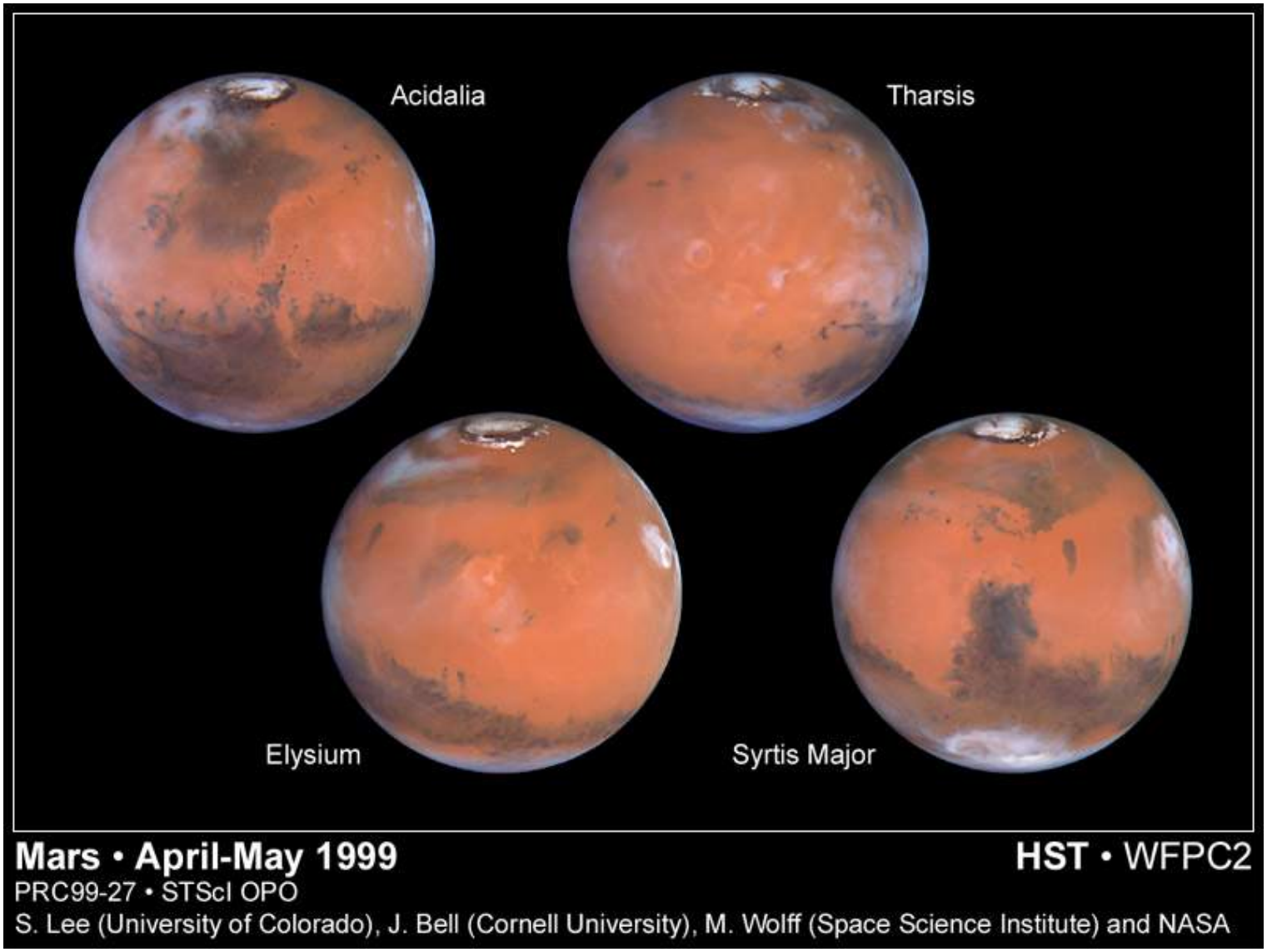
Marte



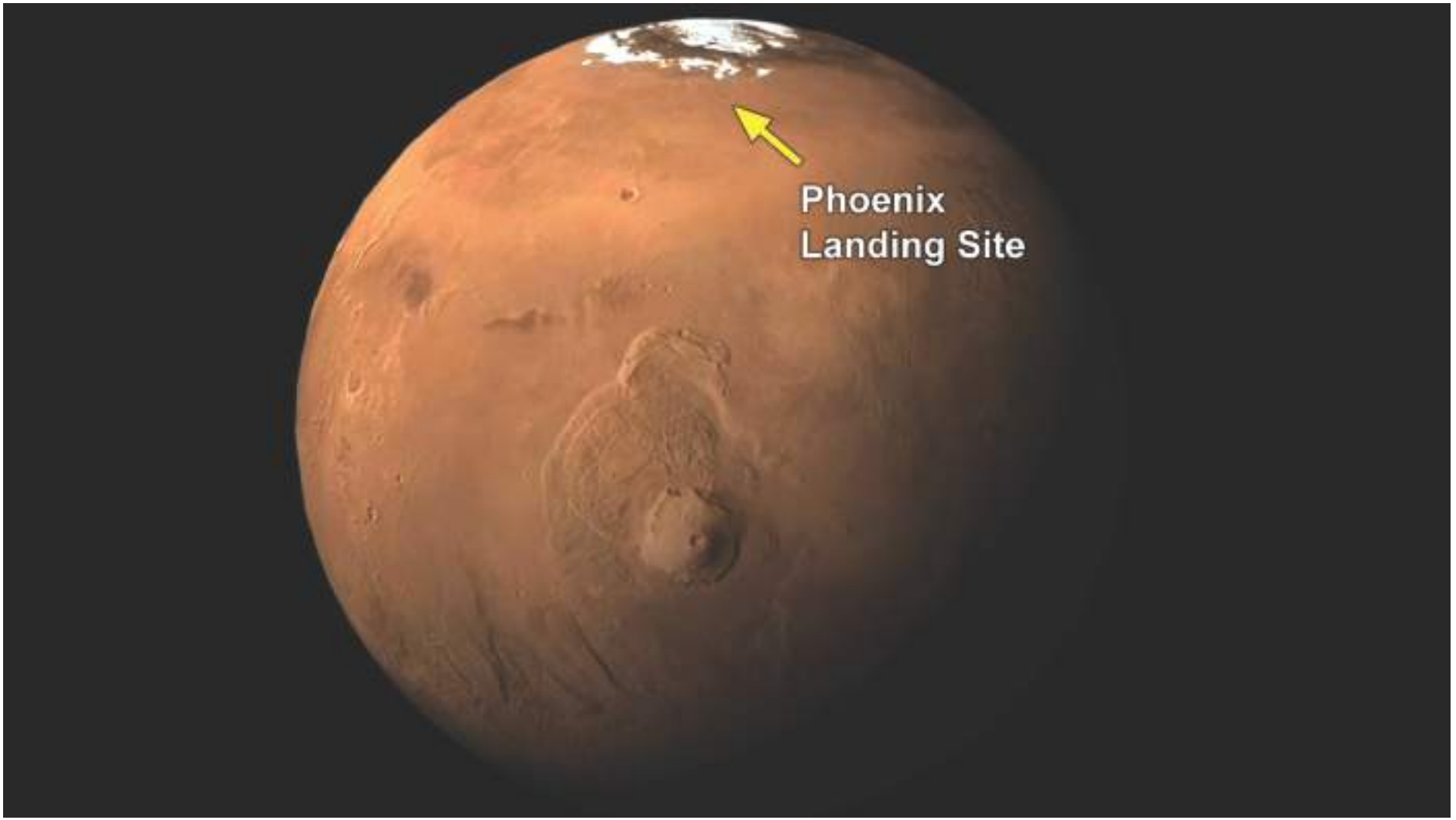
Marte



Marte

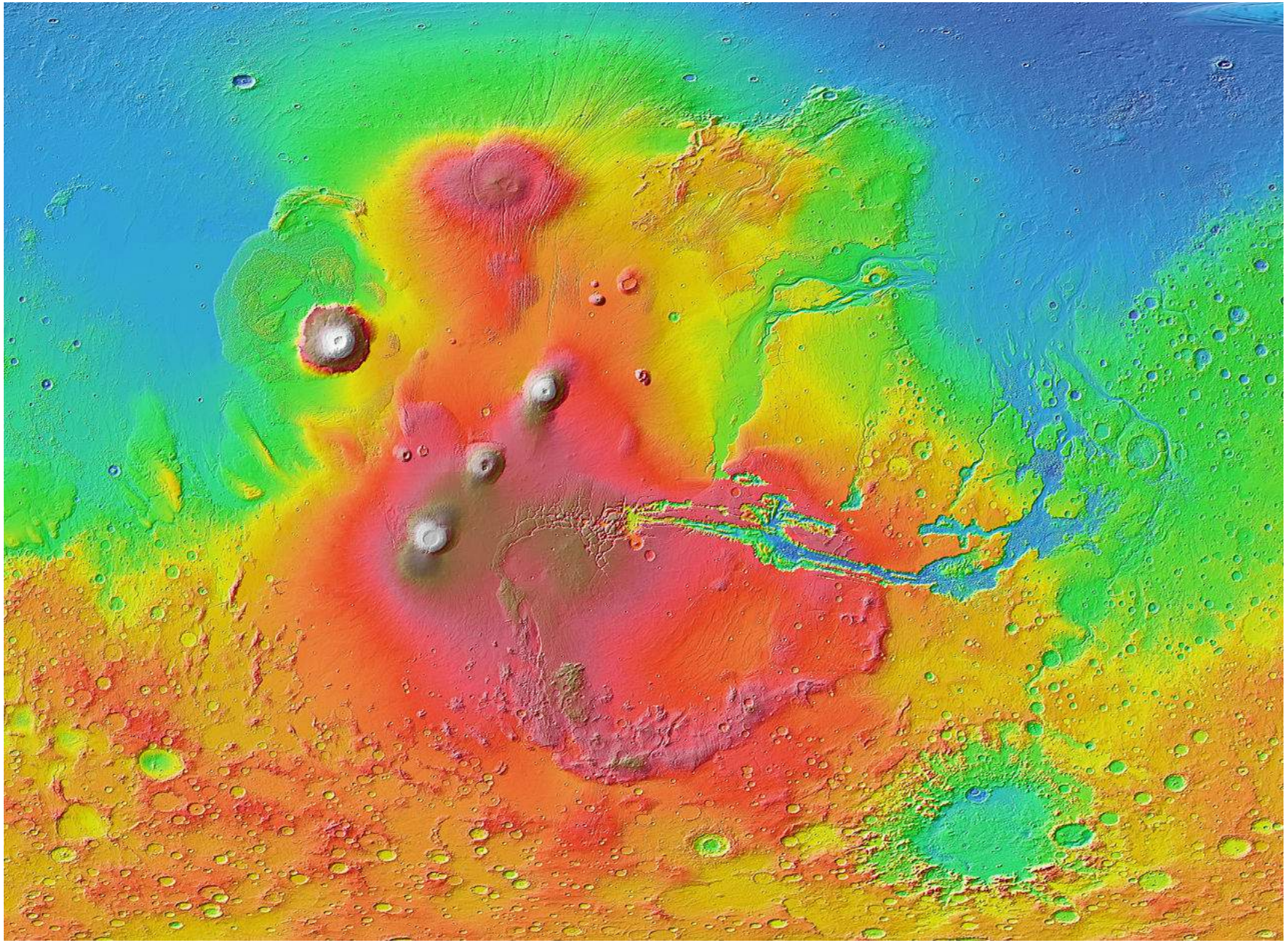

Acidalia
Tharsis
Elysium
Syrtis Major
Mars • April-May 1999
HST • WFPC2
PRC99-27 • STScI OPO
S. Lee (University of Colorado), J. Bell (Cornell University), M. Wolff (Space Science Institute) and NASA

Marte



Monte Olimpus

Mars • December 17, 2007
Hubble Space Telescope • WFPC2
NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA),
M. Wolff (Space Science Institute), and J. Bell (Cornell University)
STScI-PRC07-45a



- **Bibliografía:**

- *"The Essential Cosmic Perspective"*, J. Bennett, M. Donahue, N. Schneider & M. Voit, 7th Edition, Pearson, 2015.
- *"The Cosmos. Astronomy in the New Millennium"*, J.M: Pasachoff & Alex Filippenko, Fourth Edition, Thomson, 2013.